

М. А. Попова*, К. И. Петрова, И. С. Чулков

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**m.a.popova@urfu.ru*,

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *А. А. Попов*

ВЫДЕЛЕНИЕ ОКСИДНЫХ ФАЗ В ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ С РЗМ

Изучено влияние химического состава титанового сплава на образование оксидных фаз в жаропрочных титановых сплавах с РЗМ гадолинием. Показано, что если в сплаве содержится олово, то оксидная фаза образуется на сформировавшихся ранее интерметаллидах Gd_xSn_y , в то время как в сплавах без олова по различным границам раздела формируется оксид гадолиния.

Ключевые слова: титановые сплавы, редкоземельные металлы, гадолиний.

М. А. Popova, K. I. Petrova, I. S. Chulkov

PRECIPITATION OF OXIDE PHASES IN TITANIUM ALLOYS WITH THE RARE EARTH METAL

The influence of the chemical composition of the titanium alloy on the formation of oxide phases are investigated in heat-resistant titanium alloys with the gadolinium. It is shown that if the alloy contains tin, the oxide phase is formed on the previously formed intermetallic particles Gd_xSn_y , while in the alloys without the tin the oxide of gadolinium is formed by various interfaces.

Keywords: titanium alloys, rare earth metal, gadolinium.

Применение РЗМ в качестве микродобавок в конструкционные и жаропрочные сплавы, по мнению многих исследователей [1; 2], должно способствовать получению более стабильных структурных состояний и, тем самым, более стабильных свойств. Это влияние обусловлено несколькими факторами. Во-первых, РЗЭ являются эффективными рафинирующими добавками, которые нейтрализуют влияние таких элементов внедрения как кислород, связывая их в оксиды и уменьшая концентрацию кислорода на границах раздела [3]. В результате должны повышаться характеристики вязкости и пластичности материала. Во-вторых, РЗЭ являются поверхностно-активными элементами и поэтому их концентрация на границах раздела должна быть выше средней. Как следствие этого подвижность границ будет пониженной, что обусловит повышенную термическую стабильность сплава [4]. При этом есть данные о том, что микролегирование уменьшает ликвационную неоднородность и

препятствует образованию вредных фаз [2]. В некоторых работах утверждается, что микролегирование РЗМ способствует измельчению зерна [3]. Считается, что одной из возможностей увеличения рабочих температур титановых сплавов является их микролегирование редкоземельными элементами (РЗЭ). Повышение жаростойкости и термической стабильности обусловлено образованием термостойких окисных пленок на основе РЗМ, имеющих хорошую адгезию к основному металлу [5]. Однако до настоящего времени механизм влияния добавок РЗЭ на структуру и свойства титановых сплавов не установлен.

В этой связи целью исследования явилось изучение влияния микролегирования гадолинием в количестве до 0,4 масс.% двух жаропрочных титановых сплавов систем легирования Ti–Al–Mo–Zr–Si (Сплав 1) и Ti–Al–Mo–Zr–Sn–Si (Сплав 2) на формирование структуры. Слитки массой 20 кг получали методом двойного вакуумного переплава. Последующую деформацию осуществляли комбинированной ковкой и прокаткой с окончанием температуры деформации в β -области. Термическую обработку проводили в электрических муфельных печах.

На рис. 1 представлена микроструктура сплава 1 в литом состоянии.

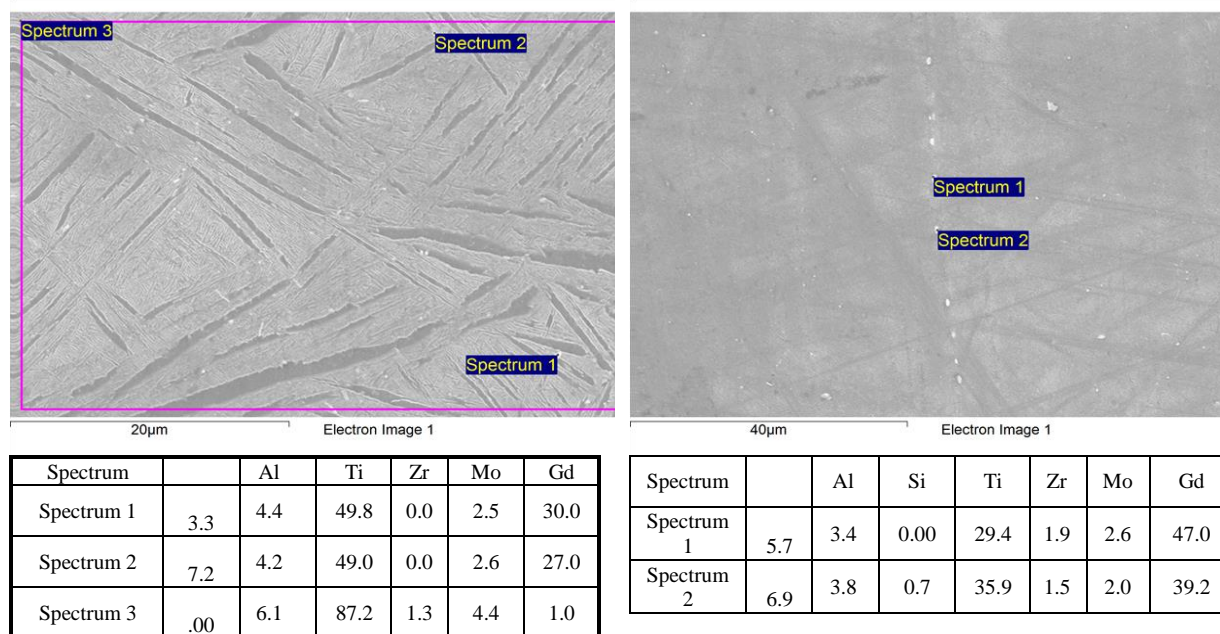


Рис. 1. Структура сплава системы Ti–Al–Mo–Zr–Si в литом состоянии

Как видно из представленных фотографий сплав имеет пластинчатую α + β -структуру. Как внутри зерна, так и по границам β -зерен наблюдаются относительно дисперсные выделения. Выделения в теле зерна преимущественно расположены на межфазных α / β -границах. Анализ таких частиц методами микрорентгеноспектрального анализа показал, что эти частицы представляют собой оксиды гадолиния.

Проведение термической обработки в β -области (нагрев на 1100°C с выдержкой 1 час и последующее охлаждение на воздухе) способствовало увеличению количества и размера выделений оксида гадолиния по границам зерен (рис. 2). Размер частиц по границам составляет 1,5–2,0 мкм.

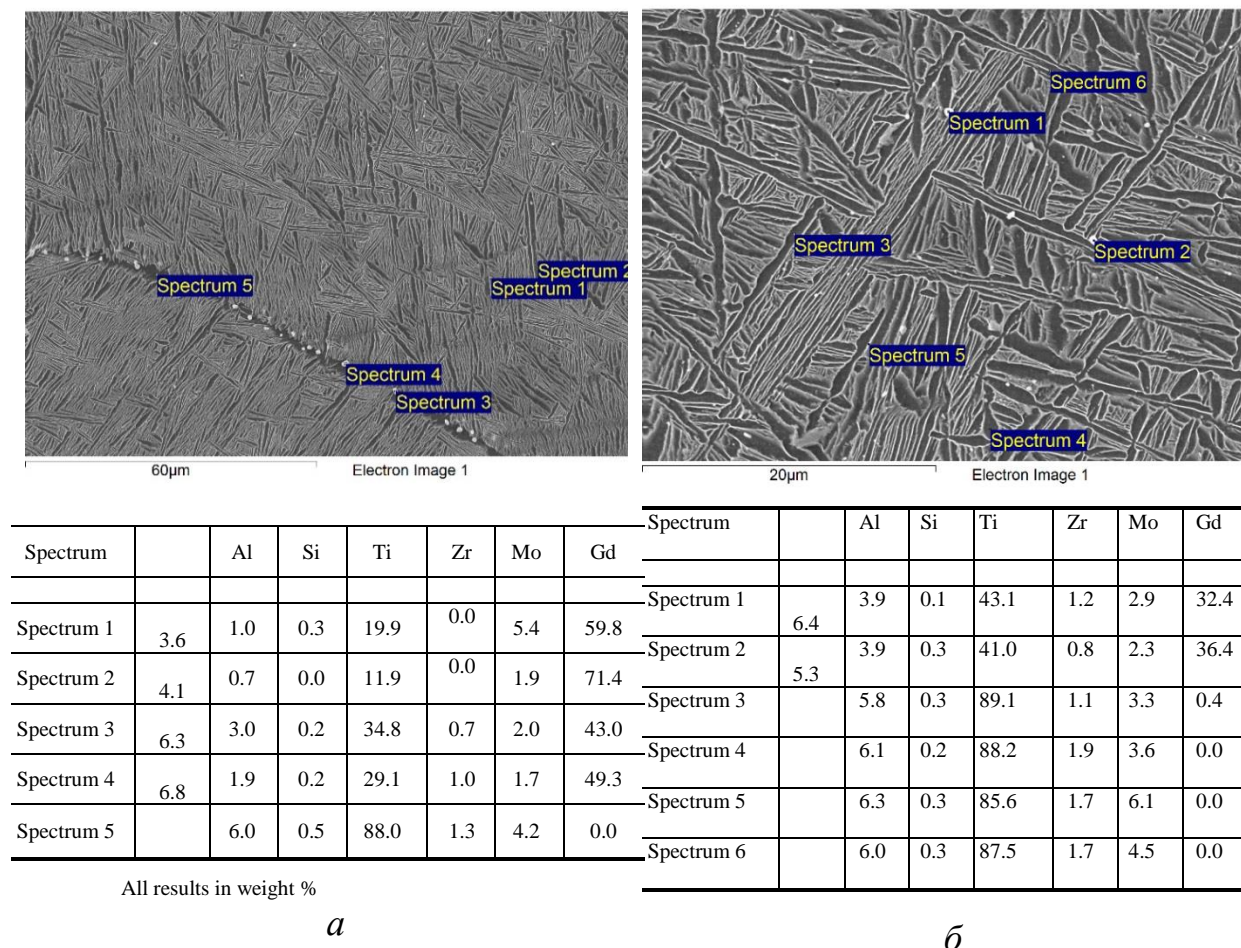


Рис. 2. Структура сплава системы Ti–Al–Mo–Zr–Si в термообработанном состоянии (а, б)

При этом выделения в теле зерна также несколько подрастают (рис. 2, б), но их размер несколько меньше, чем по границам зерен и составляет 0,7–1,0 мкм.

Для сплава 2 структура сплава также пластинчатая, но наблюдаемые выделения преимущественно располагаются по телу зерна (рис. 3). Выделений по границам зерен не обнаружено. Кроме того, образовавшиеся выделения имеют сложное строение. По данным МРСА такие частицы содержат как гадолиний и кислород, так и олово.

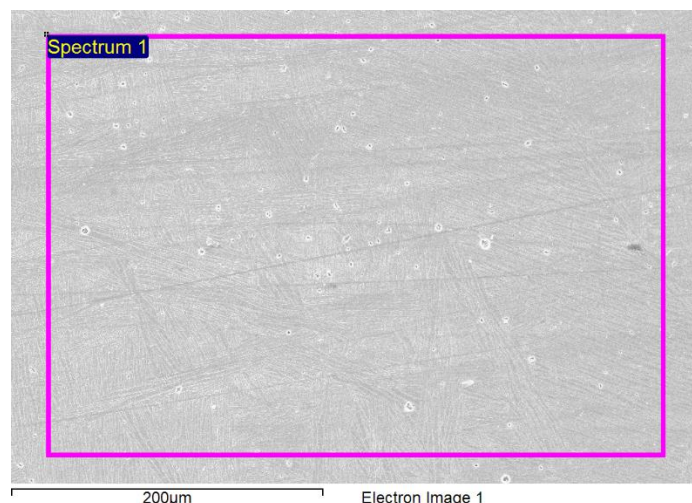


Рис. 3. Структура сплава системы Ti–Al–Mo–Zr–Sn–Si в литом состоянии

Проведение термической обработки в двухфазной области позволило сформировать преимущественно глобулярную структуру (рис. 4). Гадолиний по-прежнему преимущественно находится в частицах Gd–Sn–O, однако небольшое его количество (около 0,2–0,3 масс. %) имеется и в твердом растворе. При повышении температуры обработки сплава выше температуры полиморфного превращения до 1100 °С характер распределения частиц и их размер практически не меняется. Формирующаяся при охлаждении пластинчатая структура не связана с местами выделения этих частиц и, следовательно, они не должны оказывать существенного влияния на свойства сплава и его термическую стабильность.

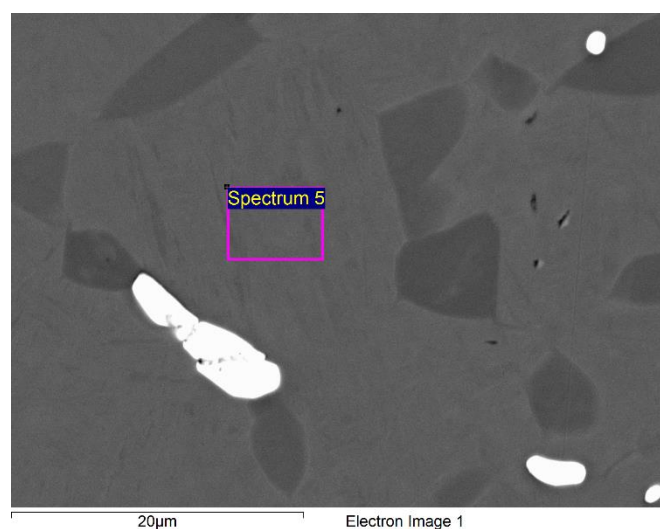


Рис. 4. Структура сплава системы Ti–Al–Mo–Zr–Sn–Si после термообработки в двухфазной области

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что если в сплаве присутствует олово, то формирующиеся частицы имеют сложное строение. Оксидная фаза (Gd_2O_3) формируется на первоначально

образовавшихся интерметаллидах Gd_5Sn_3 и характер ее распределения говорит о том, что она не должна оказывать существенного влияния на свойства сплава. В тоже время в сплаве без олова оксид гадолиния выделяется по межзеренным и межфазным границам и тем самым влияет на формирование структуры и свойств сплавов.

Работа выполнена при поддержке проекта № 2329, выполняемого в рамках базовой части госзадания 236/2014 Минобрнауки РФ и при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-7923.2016.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khorev A. I. Alloying Titanium Alloys with rare-earth metals. Russ. Eng. Research. 31 (2011). P. 1087–1094.
2. Effect of Oxide Particles Formed through Addition of Rare-Earth Metal on Mechanical Properties of Biomedical β -Type Titanium Alloy / J. Hieda [et al.] // Materials Transactions. 54 (2013). P. 1361–1367.
3. Fu H., Xiao Q., Li Y. A study of the microstructures and properties of Fe–V–W–Mo alloy modified by rare earth // Materials Science and Engineering A. 395 (2005). P. 281–287.
4. Effect of rare earth elements on the consolidation behavior and microstructure of tungsten alloys / M. Zhao [et al.] // Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 48 (2015). P. 19–23.
5. Кащук В. А., Светлов М. Б. Влияние малых добавок редкоземельных металлов и рения на свойства титанового сплава ВТ5Л // Литье тугоплавких металлов. Киев: Наук. Думка, 1975. С. 85–91.